

Pengaruh Posisi Difuser dan Variasi Kecepatan Udara Masuk terhadap Distribusi Temperatur Ruang Terkondisi (Sebuah Studi Numerik)

Denny M E Soedjono dan Joko Sarsetiyanto

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

E-mail: dmes@telkom.net

ABSTRAK

Ada banyak fungsi dasar yang harus dipenuhi oleh sistem pendistribusian udara di ruangan. Kalor yang ditimbulkan oleh sumber-sumber seperti sinar matahari, lampu-lampu dan alat-alat listrik harus dikeluarkan dari ruangan yang dikondisikan. Sistem distribusi udara juga harus mencatu udara segar ke ruangan yang dikondisikan. Pola distribusi temperatur pada ruangan yang dikondisikan dipengaruhi oleh geometri ruangan, sumber panas, jenis, letak, dan posisi difuser serta kecepatan aliran udara masuk difuser. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan posisi difuser yang optimum dengan menggunakan metoda numerik. Metoda numerik mensimulasikan variasi posisi difuser dan kecepatan udara masuk difuser. Hasil simulasi dengan posisi difuser miring ($+30^\circ$) dan kecepatan udara masuk difuser tinggi (4,2 m/s) menunjukkan distribusi temperatur sama untuk semua level. Kondisi tunak (temperatur ruangan 21°C) dicapai selama 275 detik setelah udara dialirkan ke ruangan yang dikondisikan (waktu untuk mencapai kondisi tunak ini adalah waktu tercepat bila dibandingkan dengan yang lainnya).

Kata kunci: Metode numerik, posisi diffuser, kecepatan suplai udara.

ABSTRACT

There are a number of fundamental functions to be fulfilled by an air distribution systems in a room. Heat generated by different sources such as sunlight, lighting and other electrical installations has to be removed from the conditioned room. The air distribution system must also supply fresh air to the conditioned room. The temperature distribution pattern in the conditioned room is influenced by room geometry, heat sources, diffuser position and type, and air supply velocity on diffuser. In general, the goal of this research is to find the optimum diffuser position by numerical method. Numerical method, simulates diffuser position and air supply velocity variation. The results shows that inclined diffuser position ($+30^\circ$) and high velocity air supply (4.2 m/s) indicate that the temperature distribution equal on all levels. Steady state condition (conditioned air temperatur of 21°C) occurred 275 seconds after the supply air comes into contact with the non conditioned room air (the shortest time compared to others).

Keywords: Numerical method, diffuser position, air supply velocity.

PENDAHULUAN

Ada beberapa fungsi dasar yang harus dipenuhi oleh sistem distribusi udara pada ruangan. Sistem tersebut harus dapat mengatasi panas yang dihasilkan oleh sumber-sumber panas seperti sinar matahari, lampu dan instalasi kelistrikan yang lain dan harus dapat mengatasi kebocoran panas pada dinding dan pintu. Sistem distribusi udara juga mempunyai tugas utama mengalirkan udara dingin, bersih dan segar ke ruangan dengan jumlah yang tepat. Sistem distribusi udara juga harus memberikan kondisi yang baik pada ruangan. Kondisi yang baik berarti gradien kecepatan dan temperatur yang sesuai pada seluruh daerah yang dikondisikan.

Semua parameter tersebut merupakan hubungan timbal balik yang kompleks dari: jenis difuser, kecepatan, geometri ruangan, lokasi dan ukuran sumber panas dan lain-lain.

Pola distribusi temperatur di ruangan adalah hasil interaksi antara gaya-gaya inersia, gesek, tekan dan apung. Gaya-gaya ini bekerja pada elemen-elemen aliran udara di dalam ruangan.

Kecepatan dan temperatur yang dihasilkan sangat tergantung pada mesin pendingin yang digunakan untuk menghasilkan udara yang dialirkan ke ruangan yang dikondisikan. Di samping itu posisi difuser juga akan menghasilkan distribusi temperatur yang berbeda.

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang distribusi temperatur. Rolloos [1] melakukan penelitian tentang distribusi temperatur dengan metoda similaritas dengan pendekatan Boussinesq. Pada pendekatan Boussinesq, *density* dianggap konstan kecuali pada bagian gaya apung. Sedangkan untuk ruang yang besar dengan bentuk yang kompleks penggunaan matematika murni untuk menyelesaikan persamaan yang mengatur pendistribusian udara ke seluruh ruang belum memungkinkan.

Mirade [2], meneliti tentang penggunaan *commercial CFD code* untuk mensimulasikan sirkulasi udara pada *chiller* yang menjelaskan pentingnya penentuan *meshing* karena akan sangat mempengaruhi hasil simulasi numerik.

Kurabuci dan Kusuda [3], melakukan prediksi numerik untuk pergerakan aliran udara dengan model turbulen dengan yang telah diuji dengan model $k-\epsilon$ dan metoda LES (*the Large Eddy Simulation Method*).

Nielsen dan Möller [4], meneliti tentang pengembangan distribusi temperatur di ruangan yang meliputi aliran udara horizontal dan aliran udara vertikal. Sedangkan Fusegi [5], melakukan penelitian tentang konveksi natural tiga dimensi pada keadaan *transient* untuk sebuah *cavity*.

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan tersebut di atas dilakukan pada kondisi tunak dan dua dimensi kecuali yang dilakukan oleh Fusegi. Hal ini menarik peneliti untuk melakukan penelitian tentang distribusi temperatur di ruangan (tiga dimensi) pada saat transien yaitu sejak pendistribusian dimulai hingga kondisi tunak diperoleh.

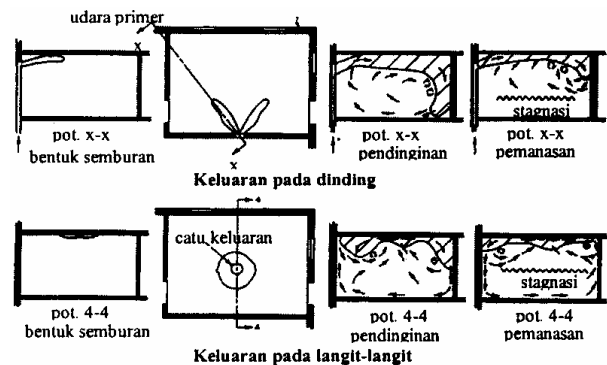
Konsep dasar tentang distribusi temperatur udara adalah terkait erat dengan aliran energi antara udara *supply* dengan udara ruangan. Gerakan udara di ruangan adalah fenomena fisik yang secara umum diatur oleh hukum-hukum kekekalan massa, momentum dan energi. Metoda distribusi udara di ruangan diklasifikasikan sebagai: sistem campuran, sistem perpindahan dan sistem setempat [6].

Sistem Campuran

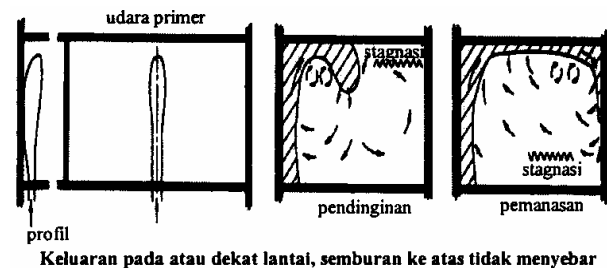
Udara terkondisi biasanya dialirkan pada difuser dengan kecepatan lebih tinggi dibanding dengan kecepatan sirkulasi udara ruangan. Temperatur udara terkondisi mungkin lebih tinggi, lebih rendah atau sama dengan temperatur ruangan, tergantung pada beban ruangan tersebut. Semburan udara dari difuser bercampur dengan udara sekeliling sehingga menurunkan kecepatan dan menyeimbangkan temperatur udara. Distribusi udara yang baik harus menghasilkan kecepatan udara, temperatur, kelembaban dan kualitas udara yang seragam pada ruang yang dikondisikan. Adapun tempat pemasangan difuser ada beberapa alternatif yaitu:

- Kelompok A: Keluaran dipasang pada langit-langit atau dekat langit-langit yang mengalirkan udara secara mendatar.

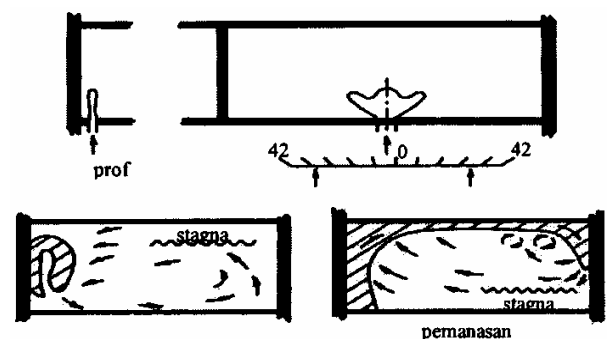
- Kelompok B: Keluaran dipasang pada lantai atau dekat lantai yang mengalirkan udara secara tegak dengan semburan yang tidak menyebar.
- Kelompok C: Keluaran dipasang pada lantai atau dekat lantai yang mengalirkan udara secara tegak dengan semburan yang menyebar.
- Kelompok D: Keluaran dipasang pada lantai atau dekat lantai yang mengalirkan udara secara mendatar.
- Kelompok E: Keluaran dipasang pada langit-langit atau dekat langit-langit yang mengalirkan udara primer secara vertikal.



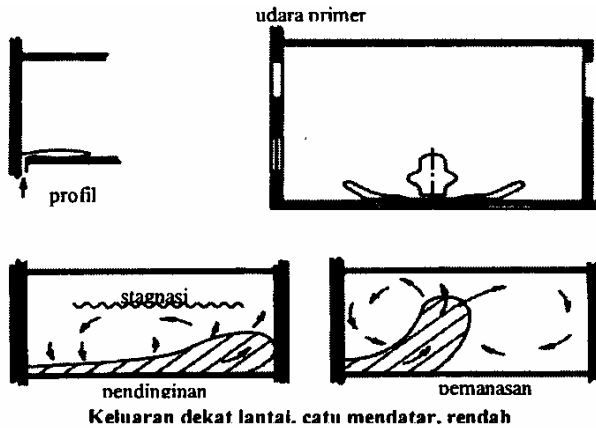
Gambar 1. Karakteristik Gerakan Udara pada Keluaran Kelompok A [6]



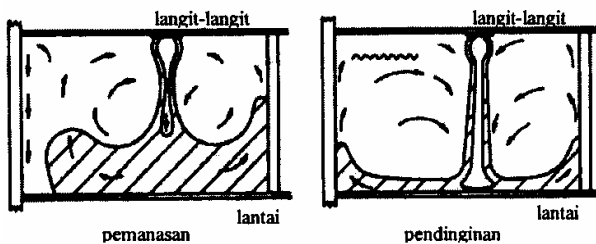
Gambar 2. Karakteristik Gerakan Udara pada Keluaran Kelompok B [6]



Gambar 3. Karakteristik Gerakan Udara pada Keluaran Kelompok C [6]



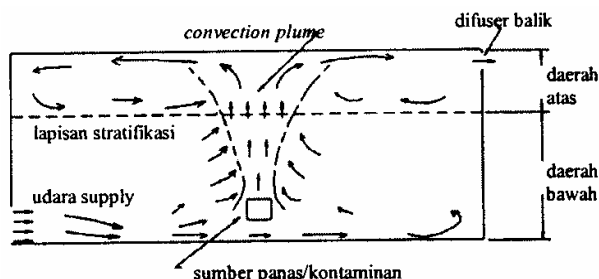
Gambar 4. Karakteristik Gerakan Udara pada Keluaran Kelompok D[3]



Gambar 5. Karakteristik Gerakan Udara pada Keluaran Kelompok E[6]

Sistem perpindahan

Udara terkondisi dengan temperatur sedikit di bawah temperatur udara ruangan yang dikondisikan dialirkan dari difuser dengan kecepatan rendah. Difuser ditempatkan pada lantai atau dekat lantai dan udara masukan dialirkan langsung ke daerah yang dikondisikan. Difuser udara balik ditempatkan dekat langit-langit atau pada langit-langit dimana udara panas ruangan dikeluarkan. Udara masukan disebarkan di atas lantai, kemudian naik ke atas karena dipanaskan oleh sumber-sumber panas pada daerah yang dikondisikan. Sumber-sumber panas di ruangan yang dikondisikan (misalnya manusia, komputer dan lain-lain) menyebabkan aliran konveksi ke atas dalam bentuk *convective plume* yang mengeluarkan kalor dan kontaminan yang mempunyai berat jenis lebih kecil dari udara di ruang yang dikondisikan (Gambar 6).



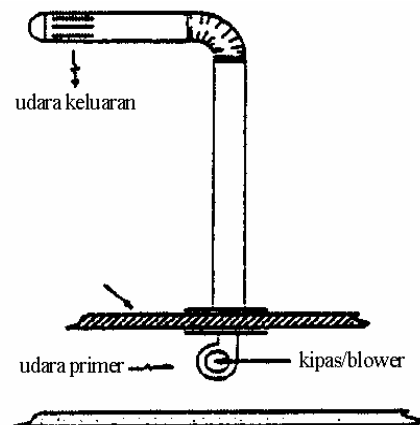
Gambar 6. Skema Ventilasi Perpindahan[6]

Volume udara pada *plume* bertambah dengan naiknya *plume* karena *plume* memasukkan udara sekeliling. Permukaan stratifikasi berada di suatu lapisan udara dimana laju aliran udara pada *plume* sama dengan laju aliran udara masukan. Dua daerah yang berbeda kemudian terbentuk pada ruangan, yaitu daerah di bawah permukaan stratifikasi dimana tidak ada aliran putaran balik dan daerah di atas permukaan stratifikasi dimana ada aliran putaran balik (Gambar 6). Ketinggian daerah di bawah stratifikasi tergantung pada laju aliran udara masukan, karakteristik sumber panas dan distribusinya pada lantai.

Ventilasi Setempat.

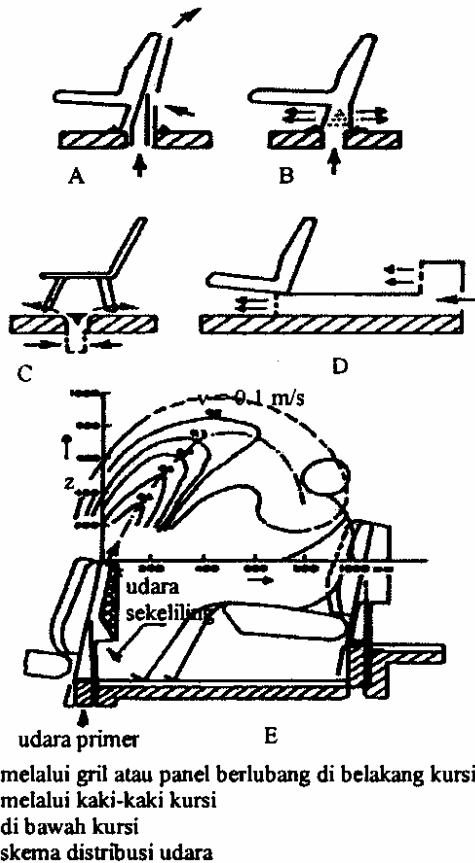
Udara dialirkan secara setempat pada daerah yang dikondisikan, seperti pada bangku di kantor-kantor, tempat duduk di gedung-gedung pertunjukan dan gedung-gedung bioskop, atau tempat-tempat kerja pada gedung-gedung industri.

Udara terkondisi dialirkan langsung ke *breathing zone* penghuni untuk menghasilkan kondisi nyaman dan/atau menurunkan konsentrasi polutan. Beberapa difuser khusus digunakan. Gambar 7, memperlihatkan satu susunan dengan difuser diletakkan pada bangku didepan penghuni.



Gambar 7. Pengontrol Lingkungan Individu[6]

Pada gedung pertunjukan dan gedung bioskop, udara dapat dialirkan melalui *grille* atau *perforated panel* di bagian belakang (Gambar 8a), melalui kaki-kaki kursi gedung pertunjukan (Gambar 8d dan Gambar 8e) atau melalui difuser udara yang dipasang pada lantai di bawah kursi (Gambar 8c). Skematik distribusi udara melalui belakang kursi ditunjukkan pada gambar 8e.



Gambar 8. Aliran Udara Setempat pada Gedung Pertunjukan[6]

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan metode numerik sebagai langkah awal untuk mengetahui pola distribusi temperatur pada penelitian ini. Dari hasil simulasi numerik ini diharapkan dapat dianalisis penyebaran temperatur di ruangan untuk berbagai posisi difuser dan kecepatan udara masuk.

Pemodelan

Keadaan aliran udara di ruangan dapat dimodelkan secara memuaskan dengan hukum kekekalan massa, momentum dan energi. Hukum tersebut dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut :

- Persamaan kekekalan massa

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

- Persamaan momentum ke arah sumbu x

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

- Persamaan momentum ke arah sumbu y

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) - g[1 - \beta(T - T_o)] \quad (3)$$

- Persamaan momentum ke arah sumbu z

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

- Persamaan energi

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

Pada Persamaan (1–5) aliran fluida dimodelkan sebagai fluida *Boussinesq-incompressible*, yang berarti bahwa $\rho = \text{konstan}$ di semua titik kecuali pada bagian *body force* yang ditunjukkan oleh $\rho[1 - \beta(T - T_o)]$.

Simulasi numerik yang dilakukan adalah untuk memperoleh pola distribusi temperatur di ruangan. Simulasi numerik ini dilakukan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian, hal ini dimaksudkan untuk memperoleh gambaran umum tentang distribusi temperatur ruangan yang dimodelkan.

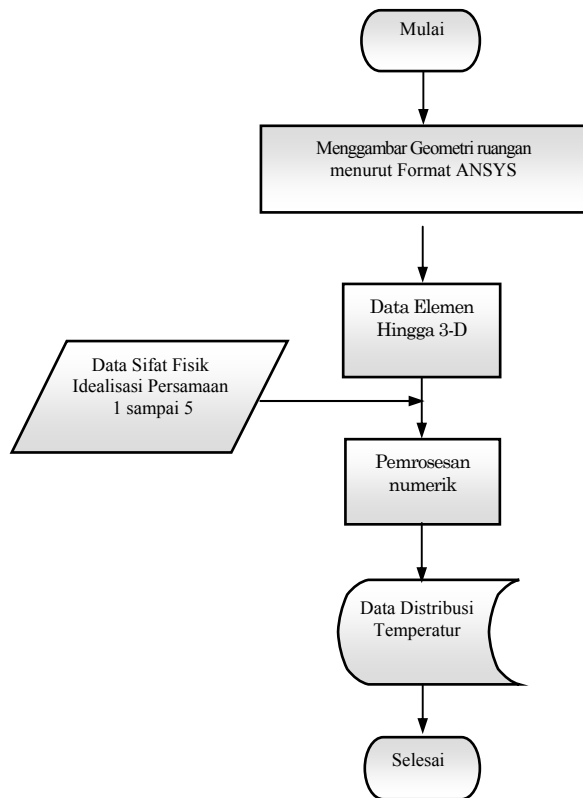
Persamaan-persamaan tersebut adalah persamaan diferensial orde-2 non linear yang sangat sulit diselesaikan secara analitis. Jadi pendekatan numerik dilakukan. Penyelesaian persamaan-persamaan tersebut dengan menerapkan model elemen hingga untuk suatu ruangan menurut format ANSYS 5.4, dengan beberapa penyederhanaan dan idealisasi sebagai berikut:

- Fluida adalah fluida *Boussinesq-incompressible*, kecuali pada bagian gaya apung.
- Kecepatan fluida pada dinding-dinding difuser sama dengan nol.
- Tidak ada kebocoran udara dari dan ke ruangan.

Syarat batas dan kondisi awal yang dipergunakan adalah :

- Dinding ruangan model adiabatik.
- Kecepatan fluida pada dinding ruangan sama dengan nol.
- Kecepatan dan temperatur fluida masuk difuser seragam.

Penyederhanaan dan idealisasi tersebut disesuaikan dengan keterbatasan kemampuan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan. Langkah-langkah pemodelan ditunjukkan pada diagram alir Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Alir Pemodelan Menurut Format ANSYS 5.4

Geometri ruang model dapat dilihat pada Gambar 10, sedangkan letak titik pengamatan untuk evaluasi ditunjukkan pada Gambar 11. Simulasi numerik dilakukan untuk dua kecepatan udara masuk (2,66 dan 4,2 m/s) dan posisi difuser mendarat dan miring ke atas 30°.

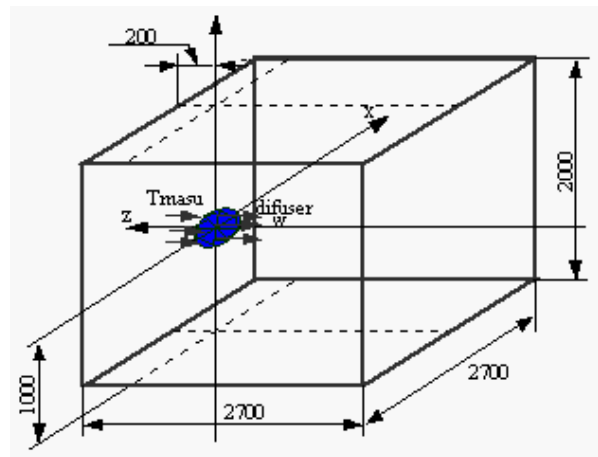
Pembagian geometri ruang model menjadi elemen hingga dibatasi sampai 20000 nodal pada format ANSYS 5.4. Iterasi dilakukan sampai mencapai ketelitian 0,01° untuk temperatur.

Data simulasi

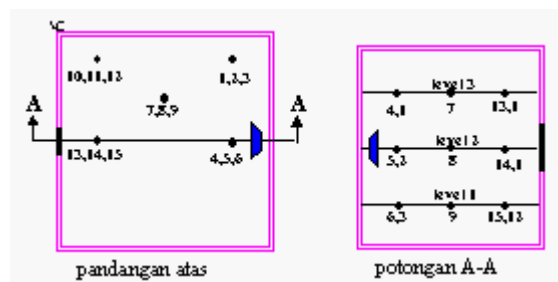
Data yang dipergunakan pada simulasi ini adalah sebagai berikut:

ρ_{udara} : 1,2 kg/m³
 $T_{\text{udara masuk difuser}}$: 17° C (290 K)
 T_{dinding} : 25,5° C (298,5 K)

- $V_{\text{udara keluar difuser}}$: rendah = 2,66 m/s
tinggi = 4,2 m/s
Catatan: kecepatan ini didasarkan pada kecepatan *blower* pada ruang tes yang akan dilakukan sesudah simulasi ini.
- $D_{\text{masuk difuser}}$: 0,2 m
Sudut kemiringan difuser yang dicoba adalah: 0° dan +30° (miring ke atas).



Gambar 10. Model Simulasi Numerik



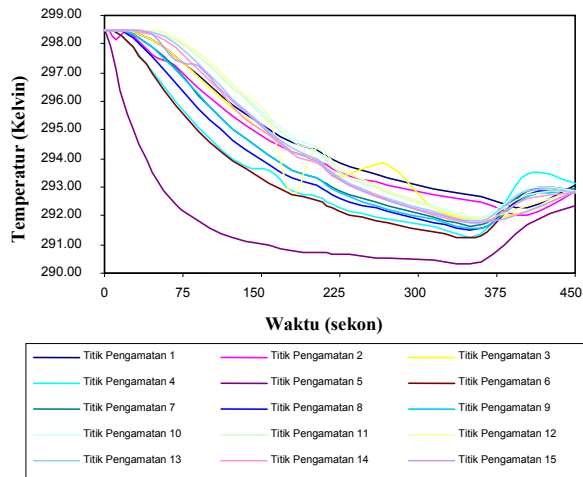
Gambar 11. Titik Pengamatan pada Ruang Simulasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi numerik yang dilakukan memberikan informasi tentang penyebaran temperatur pada ruangan untuk waktu tertentu sampai tercapai kondisi tunak.

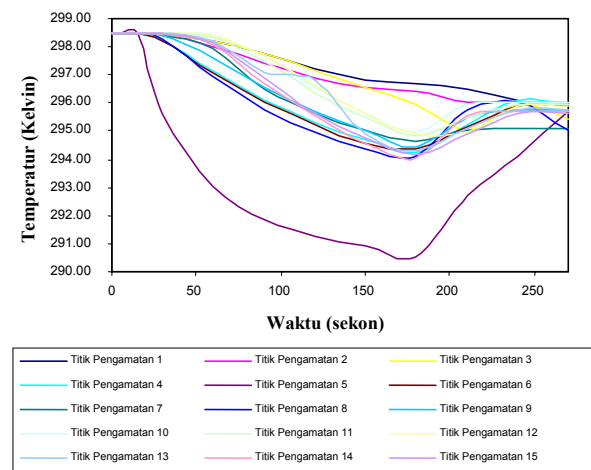
Perubahan temperatur terhadap waktu tersebut ditunjukkan pada gambar-gambar di lampiran. Secara umum penyebaran temperatur terlihat cukup seragam pada seluruh bidang, baik untuk posisi difuser mendarat maupun miring 30°. Sedangkan kecepatan penyebaran temperatur sangat dipengaruhi oleh kecepatan udara masuk difuser dan posisi difuser.

Kurva distribusi temperatur hasil simulasi pada berbagai titik pengamatan ditunjukkan pada Gambar 12 hingga 15. Pada Gambar 12, yaitu posisi difuser mendarat dengan kecepatan udara masuk difuser rendah didapat penurunan temperatur yang cukup seragam pada seluruh level pengamatan. Penurunan temperatur berlangsung relatif cepat, karena dengan kecepatan rendah udara supply mempunyai waktu relatif lebih lama untuk berinteraksi dengan udara di ruangan. Pada titik pengamatan 5 temperatur turun dengan cepat karena titik pengamatan 5 tepat berada di depan difuser.



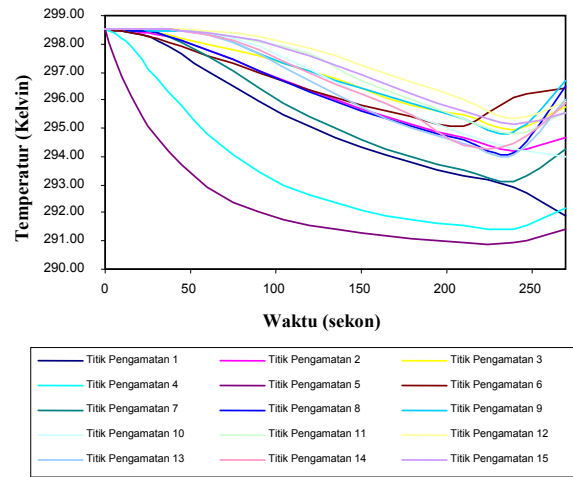
Gambar 12. Kurva Waktu vs Temperatur (Difuser Mendatar, *Blower* Kecepatan Rendah)

Pada Gambar 13, yaitu posisi difuser mendatar dengan kecepatan udara masuk difuser 4,2 m/s, didapat kurva penurunan temperatur di ruangan yang cukup berbeda dengan kecepatan udara masuk difuser 2,66 m/s. Distribusi temperatur kurang merata pada semua level pengamatan. Pada level pengamatan 2 didapat temperatur rata-rata yang lebih rendah dari level pengamatan 1 dan 3, karena level 2 tepat berada didepan difuser. Terjadi penurunan temperatur yang cukup tajam pada titik pengamatan 5 karena titik tersebut tepat berada di depan difuser.



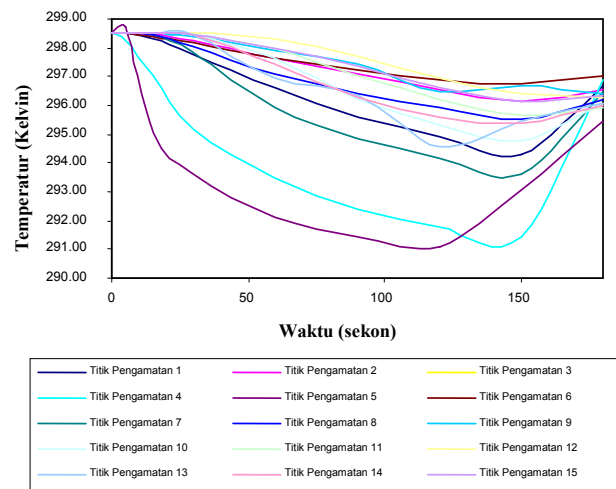
Gambar 13. Kurva Waktu vs Temperatur (Difuser Mendatar, *Blower* Kecepatan Tinggi)

Pada Gambar 14, yaitu pada posisi difuser miring $+30^\circ$ dengan kecepatan udara masuk difuser 2,66 m/s didapat kurva penurunan temperatur di ruangan yang cukup seragam. Tetapi distribusi temperatur yang terjadi kurang seragam pada semua level, hal ini dapat dilihat beda temperatur yang terjadi masih cukup besar. Penurunan temperatur lebih cepat terjadi level tiga yang berada pada daerah paling atas.



Gambar 14. Kurva Waktu vs Temperatur (Difuser Miring 30° , *Blower* Kecepatan Rendah)

Sedangkan pada Gambar 15, yaitu pada posisi difuser miring $+30^\circ$ dengan kecepatan udara masuk difuser 4,2 m/s juga didapat penyebaran temperatur yang kurang merata pada seluruh level. Pada Gambar 14 tersebut penurunan kurva temperatur kurang seragam yang dapat dilihat dari perbedaan temperatur yang terjadi. Penurunan temperatur pada titik pengamatan 4 dan titik pengamatan 5 terjadi cukup tajam karena tepat berada di depan difuser.



Gambar 15. Kurva Waktu vs Temperatur (Difuser Miring 30° , *Blower* Kecepatan Tinggi)

KESIMPULAN

1. Dari hasil kaji numerik yang telah dilakukan, didapatkan bahwa penempatan difuser dan kecepatan udara masuk sangat berpengaruh terhadap distribusi temperatur pada ruang yang dikondisikan.
2. Distribusi lebih merata diperoleh pada posisi difuser miring $+30^\circ$ dengan kecepatan udara masuk difuser 4,2 m/s, dibanding difuser mendatar.

Pada difuser miring $+30^\circ$ di dapat temperatur rata-rata yang relatif sama pada semua level pengamatan yaitu sekitar 21°C .

Level	T _{udara} ($^\circ\text{C}$)	Waktu Steady State (detik)
1	21.48	275
2	21.02	
3	21.44	

Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi tunak untuk difuser miring $+30^\circ$ dengan kecepatan udara 2,6 m/s adalah 300 detik.

- Kondisi tunak posisi difuser mendatar dengan kecepatan udara 2.6 m/s adalah 450 detik dan untuk kecepatan udara 4.2 m/s adalah 500 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- Rolloos, N., *On the Possibilities and Limitations of Modelling Room Air Flow Conditions*, Delf University, 1979.
- Mirade, P.S., Arnaud, G., *Two-Dimension Simulation of the Air Flow in Two Industrial Meat Chillers*, International Journal Refrigeration, Vol.18, 1995.
- Kurabuchi, T, Kusuda, T., *Numerical Prediction for Indoor Air Movement*, ASHRAE Journal, December 1987.
- Nielsen, Peter V and Moller, Aket. T. A., *New Developments in Room Air Distribution*, ASHRAE Journal, January 1987.
- Fusegi, Toru., Kuwahara, Kunio., Hyun, Jae Min., Farouk, Bakhtiar, *Transient 3-D Natural Convection in a Differentially Heated Cubical Enclosure*, ASME JSME Thermal Engineering Proceedings, Vol. 1, 1981.
- ASHRAE, *Fundamental Handbook (SI)*, 1993.